

## 10cm スケールの単一亀裂を対象としたトレーサー試験方法の改良

検査開発株式会社 正会員 ○佐藤 久  
核燃料サイクル開発機構 正会員 武部 篤治

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の亀裂性岩盤中への地層処分において、亀裂は核種の優先的な移行経路になると考えられることから、亀裂中の水理・物質移行特性を把握することは、地層処分の安全評価上非常に重要である。亀裂内の水理・物質移行特性を把握するために室内において透水試験やトレーサー試験が行われるが、亀裂開口部の体積が配管・注排水ポートなどの容量に比べて小さい場合、精度の高いトレーサー試験結果を取得することは難しい。そこで本研究では10cmスケールの亀裂を対象に精度良くトレーサー試験を行える方法を検討し、平行平板を用いてその精度についての検討を行った。

## 2. 試験方法概要

筆者らが以前採用していたトレーサー試験方法は<sup>1)</sup>、亀裂の前後に電気伝導度計を設置し、幅10cmのポートに対し1点からトレーサーを注入していたことから、次に示す問題点が生じていた。(1)デッドボリューム（電気伝導度計検知部、配管、ポートの容量）によるトレーサー移行時間の遅延、(2)亀裂に到達するまでにトレーサーが分散、(3)トレーサーが亀裂内に一様に浸透していない。(1)に関してはデッドボリュームを減少させることによりある程度低減することができるがそれには限界がある。(2)に関しても同様である。(3)に関しては多点でポートにトレーサーを注入すれば一様に近づくが、配管長が増えデッドボリュームが増える。これらの問題点を解消するためにトレーサー注入方法の改良を行った。図1に改良した試験方法の概要を示す。トレーサーには1%NaCl水溶液を使用しており、電気伝導度計により連続的にトレーサー濃度を測定している。試験方法の特徴として、注排水ポートでフラッシングを行う機構を取り付けた。ポート内を亀裂内に比べて大きな流量( $Q2 \gg Q3$ ,  $Q5 \gg Q3$ )でフラッシングすることにより、注入ポートではポートに到達したトレーサーは速やかにポート内を置換し、電気伝導度計に到達する。排出ポートではポートに到達したトレーサーはフラッシングにより速やかに電気伝導度計に達する。ポート内及び亀裂内の流量の関係は以下の通りである。

$$Q1 = Q2 + Q3$$

注排水ポートのフラッシングの効果を等しくするには、それぞれのデッドボリュームを等しくすると共に、 $Q1 = Q5$ ,  $Q2 = Q4$  として注排水ポート内の流量が等しくなるように設定すれば良い。この方法により配管及び注排水ポートでトレーサーの遅延の影響を取り除くことができる。また、トレーサーが速やかにポート内を置換することから、トレーサーが一様に亀裂内に浸透し、ポート内での分散も少なくなる。透水試験を行う際には、注入側のドレインと排水側のフラッシングを止めて排水側ドレインの流量を計測する。

## 3. アクリル平行平板での性能確認

試験装置の性能を確認するために透明アクリルを用いて平行平板を作製しトレーサー試験を行った。この試験体は幅10cm長さ10cm厚さ3cmのアクリルブロックの間に厚さ0.1mm幅5mmのスペーサーを挟んだものである。この試験体を対象に透水試験、トレーサー試験、幾何学的開口幅測定を行った。

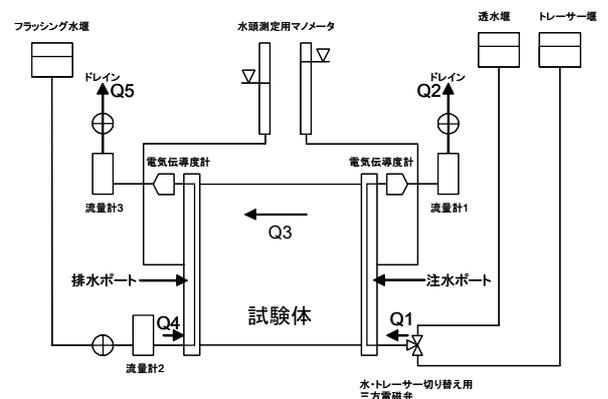


図1 試験装置概要

キーワード：トレーサー試験 単一亀裂 水理学的開口幅 物質移行開口幅

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 核燃料サイクル開発機構 電話 029-282-1111 内線 3145

### 3.1 試験データから得られる開口幅について

透水試験で得られる水理学的開口幅  $b_h$  は式(1), トレーサー試験で得られる物質移行開口幅  $b_t$  は式(2)で表せる<sup>2)</sup>.

$$b_h = \left( \frac{12\mu Q}{\rho g \frac{\Delta h}{L} W} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1) \quad b_t = \left( \frac{12\mu V}{\rho g \frac{\Delta h}{L}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで,  $\mu$ : 粘性係数(kg・m/s),  $Q$ : 単位時間流量(m<sup>3</sup>/s),  $\rho$ : 密度(kg/m<sup>3</sup>),  $g$ : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>),  $\Delta h$ : 水頭差(m),  $L$ : 移行経路長(m),  $W$ : 亀裂の幅(m),  $V$ : トレーサー流速(m/s)である. 透水試験の結果(図2参照)から水理学的開口幅は0.18mmが得られた.

### 3.2 トレーサー試験結果

図3にトレーサー試験結果の一例を示す. トレーサー移行時間は注入側の  $C/C_0$  が50%に達してから排出側の  $C/C_0$  が50%に達するまでの時間とした. このケースでは23.2秒となる. この結果から求められた物質移行開口幅は0.17mmであった. この試験体は透明アクリルで作製されているため, 着色したトレーサーを使用することにより亀裂内でのトレーサーの移行を観察することができる. そこで, トレーサー試験を行いながら2秒間隔で写真撮影をし, 写真から求められる滞留時間とブレイクスルーカーブから得られる滞留時間の比較を行った. 図4に写真撮影の結果を示す. 亀裂内を流れ方向に一樣にトレーサーが移行していることが観察できる. また, ブレイクスルーカーブから求められるトレーサー移行時間が23.2秒に対して, 写真から求められたトレーサー移行時間は24秒前後であり, 両者はほぼ一致していることがわかる.

### 3.3 幾何学的開口幅の測定

亀裂の幾何学的開口幅  $b_a$  を接触式三次元測定機により計測した. アクリルブロック及びスペーサーを挟んで重ねた高さを計測し, 重ねた高さから2つのアクリルブロックの高さを引くことにより開口幅を求めた. 図5に開口幅分布を示す. 注入側から排出側にかけて開口幅が大きくなる傾向であることがわかる. また, 全ての計測点の算術平均値は0.19mm(幾何学的開口幅の平均値)が得られた.

## 4. まとめ

幾何学的開口幅  $b_a$ , 水理学的開口幅  $b_h$ , 物質移行開口幅  $b_t$  はそれぞれ0.19mm, 0.18mm, 0.17mmであり, 大小関係は  $b_a > b_h > b_t$  となっている. Silliman<sup>3)</sup>によると, ランダムな亀裂開口幅分布を持つ亀裂の場合開口幅の大小関係は  $b_a > b_h > b_t$  となり, 理想的な平行平板の場合は  $b_a = b_h = b_t$  であることから, 今回の試験体は完全な平行平板を実現できなかったためにランダムな開口幅分布と評価された. 信頼性の高い試験結果を得るには, 理想的な平行平板試験体を準備する必要があると思われるが, 今回算出した開口幅の差は小さいことから妥当な試験結果が得られていると考えられる.

### 参考文献

- 1)吉野尚人, 佐藤久: 亀裂状媒体水理試験設備(LABROCK)による透水・トレーサー試験, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN8400 2002-001, 2002.
- 2)Y.W.Tsang Usage of "Equivalent Apertures" for Rock Fractures as Derived From Hydraulic and Tracer Tests, Water Resourced Research, vol.28, No.15, pp.1451~1455(1992)
- 3)S.E.Silliman: "An Interpretation of the Difference Between Aperture Estimates Derived From Hydraulic and Tracer Tests in a Single Fracture", Water Resourced Research, vol.25, No.10, pp.2275~2283(1989)

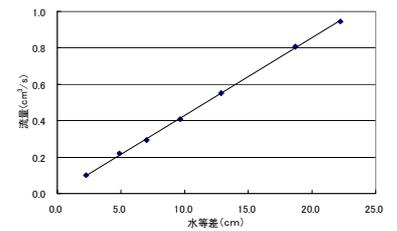


図2 水等差と流量の関係

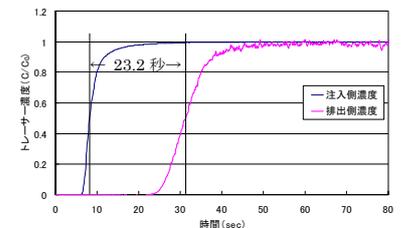


図3 ブレイクスルーカーブ

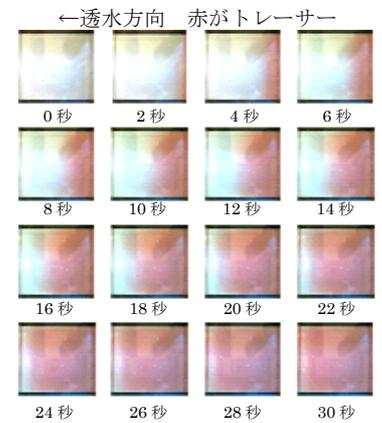


図4 写真撮影結果

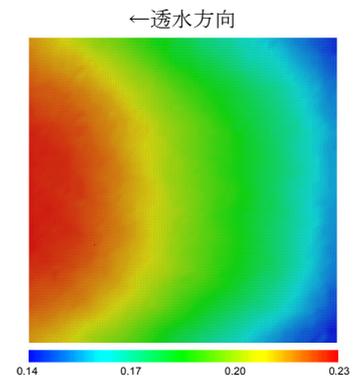


図5 開口幅分布(mm)